

補助事業番号 2019M-145  
補助事業名 2019年度 アルミ製伝熱プレートを用いた海洋温度差発電用プレート式熱交換器に関する研究補助事業  
補助事業者名 佐賀大学海洋エネルギー研究センター海洋熱エネルギー部門温度差エネルギー分野有馬研究室 准教授 有馬博史

## 1 研究の概要

海洋温度差発電およびスプレーフラッシュ式海水淡水化装置に用いるアルミ製伝熱プレートを用いた高性能プレート式熱交換器を新規に開発する。本研究では、3D CADによる設計技術を生かして伝熱プレート製造に用いるプレス用金型の作成を行い、それを用いてアルミ板を実際にプレス加工することで伝熱プレートを作成する。更に、アンモニア及び海水を用いた伝熱性能試験や耐圧試験を行い、実用性を確認する。また、海洋温度発電の複合利用法の一つであるフラッシュ蒸発式海水淡水化用のプレート式凝縮器として本研究の熱交換器を使用し、凝縮器としての性能評価も行う。実験は佐賀大学海洋エネルギー研究センター伊万里サテライト(佐賀県伊万里市)、同久米島サテライト(沖縄県久米島町)でそれぞれ行う。伊万里サテライトではアンモニアが使用可能な実験設備、久米島サテライトでは海水が使用可能な設備を備える。各実験でアルミ伝熱プレートの性能が海洋温度差発電や海水淡水化での使用に問題ない事と既存のプレートに対して伝熱性能向上を確認することが本研究の目的であるが、将来的にこの技術をもとに両装置の既存の熱交換器を本提案の伝熱プレート置き換えてプラント性能向上に寄与することを目的とする。

## 2 研究の目的と背景

海洋温度差発電は2013年に沖縄県久米島、2015年にハワイで海水を使用した実証プラントが稼働しており、実用化に向けた研究が一段と加速している。一方で、プラントの性能向上に向けた研究も装置を構成する個々の機器について並行して進められている。その中でも海洋温度差発電は海水の持つ海洋熱エネルギーを利用して発電を行うため、高性能な熱交換器の利用が不可欠となっている。よって海洋温度差発電では熱交換器の中でも伝熱性能の高いプレート式熱交換器が用いられる。さらに海洋温度差発電用のプレート式熱交換器は性能向上に向けて、伝熱性能向上と圧力損失の低減を目的としたプレート伝熱面の形状、伝熱面処理法、熱媒体の流れ向きについての研究がこれまで行われてきた。しかし、伝熱性能の向上に不可欠なプレート式熱交換器を構成する伝熱プレートの材料についてはあまり検討されてこなかった。理由としては、海洋温度差発電用では熱媒体として熱交換器にアンモニアと海水を流す必要があり、これらの媒体による腐食が懸念されるため、材料としては一般に耐食性の高いチタンが使用されている。しかしチタンは金属の中でも熱伝導率が比較的低いため伝熱機器に使う材料としては不利である。申請者はこれまでの研究として、アルミニウムをプレート式熱交換器の伝熱材料として用いることを考え、アンモニア及び海水を対象とした伝熱性能及び腐食に関する研究を進めてきた。その中で、アンモニア及び海水の耐性を高めるためにPEEK樹脂及びDLCによるコーティングを施したアルミプレ

ートを試験体とし、既存のチタン材料との比較において、ほぼ同等かそれ以上の伝熱性能を得られることが明らかにした。一方、別の研究としてこれらのコーティング材を含めた10種類のアルミコーティングによる腐食性についても明らかにしている。ところで、前者の研究で用いたアルミプレートは加工上の問題から、既製品に使われるヘリンボーン型を有するプレートではなく平滑面を使用していた。よって、伝熱性能を既成のプレートと比較する上で条件が不足する形となっていた。一般に、伝熱面積の違いからヘリンボーンの伝熱性能が平滑面に比べてよくなることから、前者の研究結果を考えると、伝熱面形状をそのままに材質のみアルミにすることでさらなる伝熱性能の向上が見込まれる。そのためには、既成のチタンプレートと同一形状のアルミプレートを作成し、改めて伝熱性能の比較を行う必要がある。

そこで既存のチタンプレートと同一形状のプレートを作成して改めて伝熱性能の比較を行うことにした。本研究では同一形状のヘリンボーン型アルミニウムプレートを金型から作成し、陽極酸化コーティングを施したうえでアルミニウムプレートのアンモニアおよび海水による伝熱性能試験を行った。

### 3 研究内容

(1)アルミ製伝熱プレートを用いた海洋温度差発電用プレート式熱交換器に関する研究  
<https://www.ioes.saga-u.ac.jp/~arima/jka-hojo/2019/jka-hojo-2019.html> (URL)

#### ①アルミ製伝熱プレートの製作

本研究において主要な実験材料である**新伝熱プレート**の製作を行った。伝熱プレートはアルミ材(A1050)の薄板を材料とした。表面形状は、チタン製の一般的な市販品伝熱プレートに見られるようなヘリンボーン型とした。伝熱プレートの外観図を図1に示す。プレートのサイズは幅100mm、高さ350mm、板厚は1mm、波型凹凸の最大幅は3.5mmである。またシェブロン角は45度とした。

なお、伝熱プレートは3D CADソフトを用い設計を行い、3Dプリンターを用いて試作を行った後にプレス加工の専門業者にて金型加工を行った。作られた金型をもとにプレスにより製品の加工を行った。

加工後の伝熱プレートには、アンモニアによる腐食対策として、**陽極酸化と陽極酸化塗装複合被膜**の2種類の表面処理を行った。今

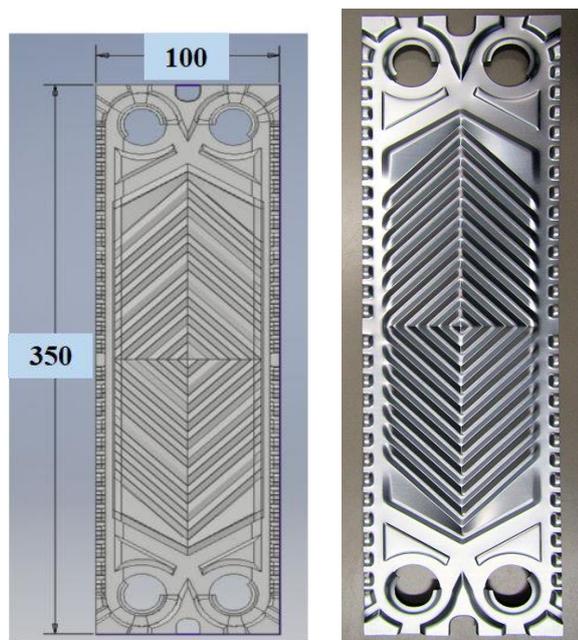


図1 伝熱プレートの外観および寸法図

図2 陽極酸化表面処理後の伝熱プレート

回の研究では、陽極酸化表面処理による伝熱プレート(図2)を用いた。

### ②単相熱交換実験

新伝熱プレートを用いた単相(温水-冷水)の熱交換実験を行った。図3に実験装置概略図を示す。実験装置は、テストセクション(プレート式熱交換器)、冷凍機、温水タンクおよび温水ポンプで構成される。テストセクションであるプレート式熱交換器の外観写真を図4に示す。冷水および温水を任意の温度と流量でテストセクションに循環させて熱交換を行い、その際の温水・冷水側のそれぞれの入口および出口の温度を測定することで、熱通過率を求めることで、伝熱性能の評価を行う。得られた熱通過率の例を図5に示す。

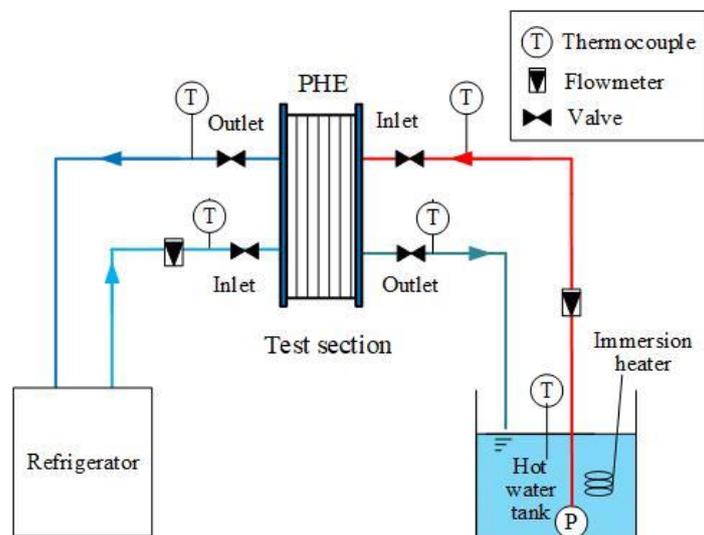


図3 単相熱交換実験装置概略図



図4 テストセクション外観図

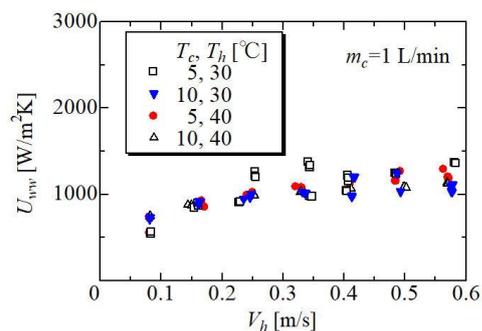


図5 温水流速に対する熱通過率

### ③アンモニア沸騰熱伝達実験

新伝熱プレートを用いたアンモニア沸騰熱伝達実験を行った。図6に実験装置概略図を示す。実

験装置は、テストセクション（プレート式蒸発器）、凝縮器、作動流体タンク、サブクーラー、2基の冷凍機、温水タンク、作動流体ポンプ、温水ポンプで構成される。テストセクションであるプレート式蒸発器は、図4のプレート式熱交換器と同一のものを使用した。実験では、②の単相実験と同様な方法を用いて熱通過率を求め、さらに得られた熱通過率からアンモニアの熱伝達率を求めた。得られた熱通過率とアンモニア熱伝達率の例を図7.8に示す。

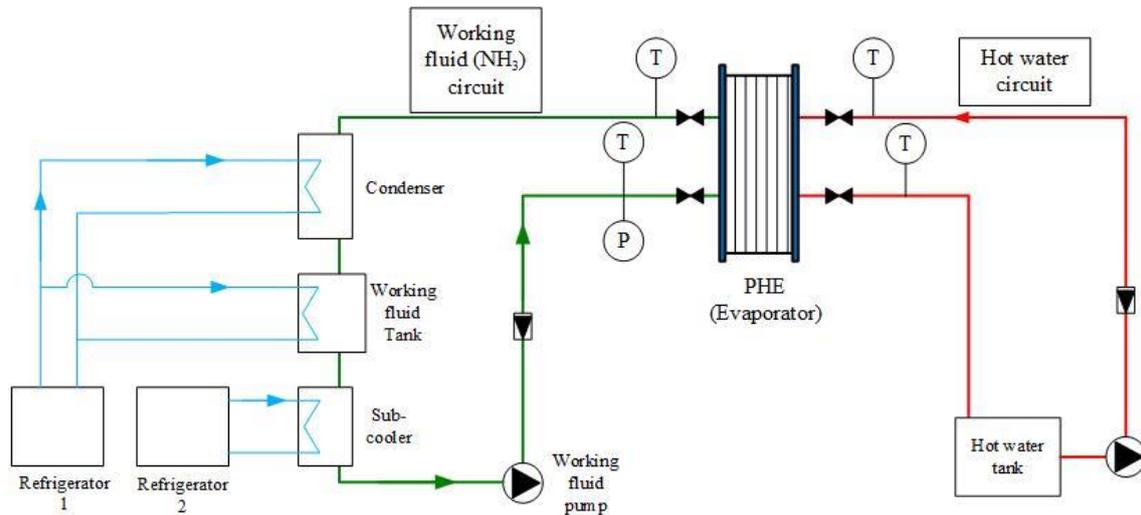


図6 アンモニア沸騰実験装置概略図

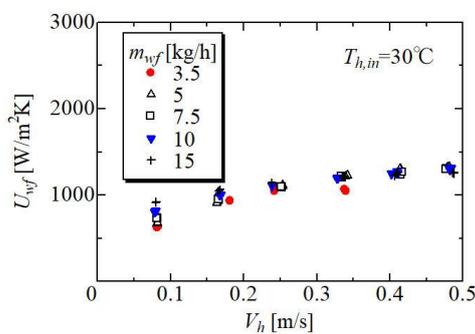


図7 温水流速に対する熱通過率

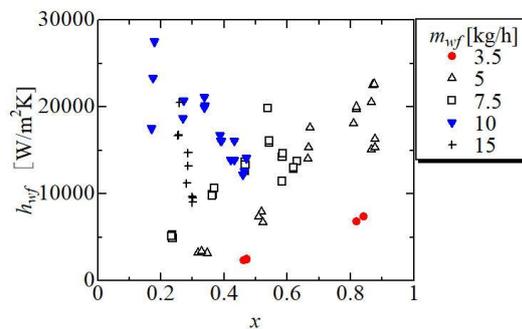


図8 出口乾き度に対するアンモニア沸騰熱伝達率

#### ④水蒸気の凝縮熱伝達実験

新伝熱プレートを用いた水蒸気の凝縮実験を行った。図9に実験装置概略図を示す。実験装置はフラッシュ蒸発式海水淡水化装置を想定したものであり、テストセクション（プレート式凝縮器）、真空温水タンク、清水タンク、真空ポンプ、冷凍機で構成される。テストセクションであるプレート式凝縮器は、図4のプレート式熱交換器と同一のものを使用した。実験では、②の単相実験と同様な方法を用いて熱通過率を求め、さらに得られた熱通過率から水蒸気の凝縮熱伝達率を求めた。得られた熱通過率と水蒸気の凝縮熱伝達率の例を図10,11に示す。

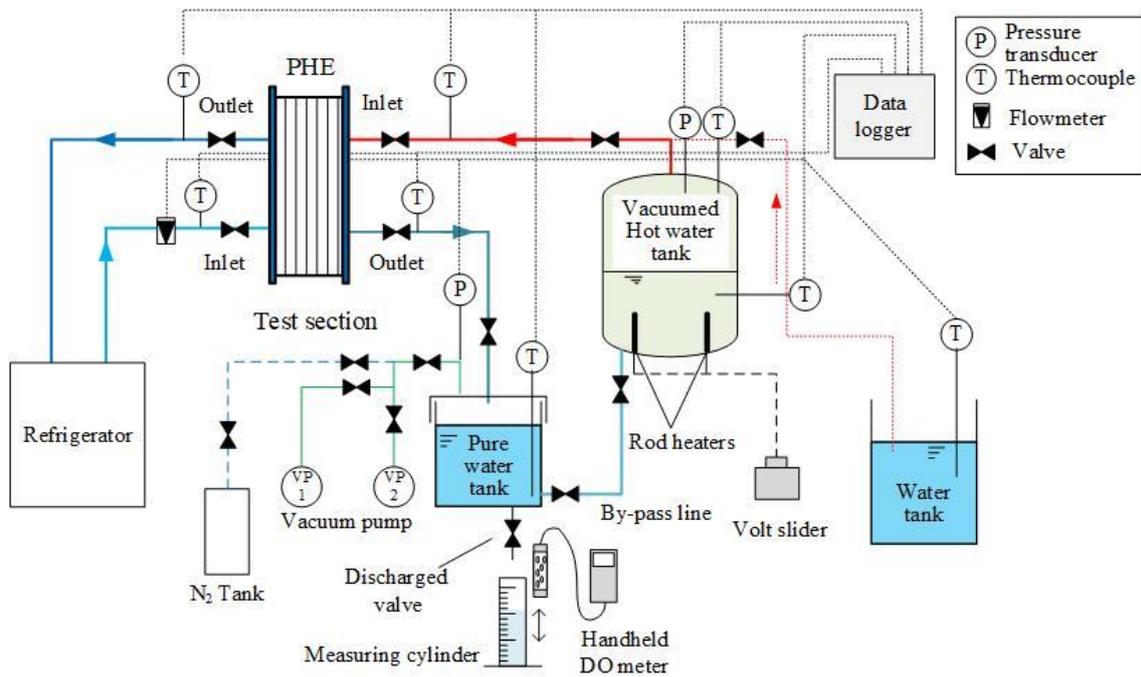


図 10 水蒸気凝縮実験装置概略図

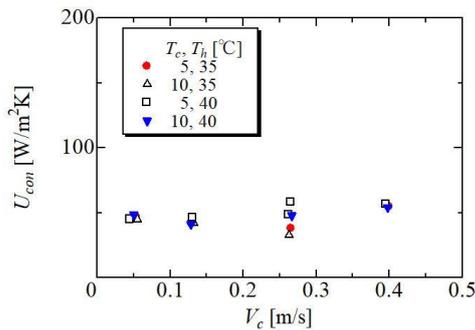


図 11 冷水流速に対する熱通過率

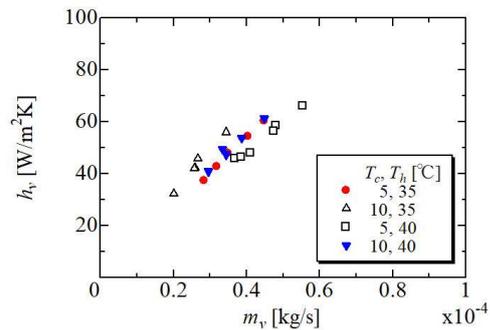


図 12 水蒸気質量流量に対する凝縮熱伝達率

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

海洋温度差発電は海水を使用した実証プラントが全世界で2か所のみ稼働している。今後実用化に向けてプラントの構成機器の高性能化が必要であるが、実機プラントサイズの機器を用いた要素研究は、開発費の問題もありダイナミックな性能向上が得られる成果は得られていない。その中でも主要な機器である熱交換器はプラント性能に大きく寄与するものであるため、伝熱性能の向上を目指して様々な形状の機器が提案されている。しかし、熱交換器についても性能向上に必要なブレイクスルーとなる技術が更に求められている。本事業を完了することによって、本研究で提案し性能評価を行った海洋温度差発電の熱交換器用の高性能な伝熱プレートを実用機に適用する環境を整える。将来的に実機の熱交換器の伝熱プレートとしてこのプレートを適用することで、プラントの性能向上および低コスト化を目指す。さらに熱交換器を採用した高性能低価格なプラン

トが開発され、それが世界に普及することで全電源に対する再生可能エネルギーの利用率の向上に寄与することを期待する。それは同時に地球温暖化ガスの減少にも寄与することになり、環境負荷の低減に大きく貢献する。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者はこれまで、海洋エネルギーの一つである海洋温度差発電に用いるプレート式熱交換器におけるアンモニア沸騰熱伝達の研究を長期間行っている。アンモニア沸騰熱伝達の研究の主目的は、プレート式熱交換器の伝熱特性の解明と、伝熱性能の向上である。一連の研究の中で、伝熱性能の向上として、アルミ材のプレート式蒸発器の伝熱面への採用について提案を行っており、複数の試験体を用いた伝熱性能の評価を行った。本事業における研究は、その中の一つとして位置づけられ、実用機に近い形状を用いたアルミ製伝熱プレートを実際に製作してそれを用いた伝熱性能の評価を行った。また、それにより、実用化に近づけるための知見の取得ができた。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. 有馬博史, 重永裕大, 西口正尚, ヘリンボーン型アルミ板を用いたアンモニア蒸発器の伝熱特性, 佐賀大学海洋エネルギー研究センター 令和元年度 成果発表会 講演論文集 (2020.3.27).
2. 有馬博史, 西口正尚, 重永裕大, 表面処理されたアルミニウム材のアンモニア用プレート式熱交換器への利用可能性, 軽金属学会第138回春期大会講演概要 (2020.4.22).
3. 有馬博史, 重永裕大, 西口正尚, 表面処理されたアルミ板を用いたアンモニア蒸発器の伝熱特性, 第57回日本伝熱シンポジウム講演論文集 (2020.5.20).

#### 7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

<https://www.ioes.saga-u.ac.jp/~arima/jka-hojo/2019/jka-hojo-2019.html> (URL)

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 佐賀大学 (サガダイガク)

住 所: 〒840-8502 佐賀市本庄町1番

担 当 者: 准教授 有馬博史 (アリマヒロフミ)

担 当 部 署: 海洋エネルギー研究センター (カイヨウエネルギーケンキュウセンター)

E - m a i l: [arima@ioes.saga-u.ac.jp](mailto:arima@ioes.saga-u.ac.jp)

U R L: <https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/>